

Bagazo y composta de bagazo de agave tequilero en suelos contrastantes: 2. Dinámica de mineralización del carbono y nitrógeno

Bagasse and compost of tequila agave bagasse in contrasting soils: 2. Dynamics of carbon and nitrogen mineralization

Laura Liliana Acosta Sotelo¹, Juan Francisco Zamora Natera², Ramón Rodríguez Macías², Cecilia Jiménez Plascencia², Juan Fernando Gallardo Lancho³ y Eduardo Salcedo Pérez^{2*}

¹ Doctorado en Ciencias en Biosistemática, Ecología y Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas (BEMARENA), Universidad de Guadalajara, Camino Ing. Ramón Padilla Sánchez 2100, 45200 Zapopan (Jalisco, México). laura.acosta1798@alumnos.udg.mx (0000-0002-7263-7110).

² Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA), Universidad de Guadalajara. Carretera a Nogales, km 15,5, Predio Las Agujas, Zapopan (Jalisco, México). juan.znatera@academicos.udg.mx, (0000-0002-8550-4616); ramon.rmacias@academicos.udg.mx, (0000-0003-0857-6699); cecilia.jplascencia@academicos.udg.mx; eduardo.salcedo@academicos.udg.mx, (0000-0002-5292-3099),

³ C.S.I.C., IRNAsa (jubilado). Salamanca 37008 (España). juanf.gallardo@gmail.com (0000-0002-4174-3930).

RESUMEN

El estudio del proceso de mineralización de bagazos y compostas de bagazo (subproductos procedentes de la elaboración del tequila) permite predecir los efectos que tendrán sobre la fertilidad del suelo al ser incorporados al mismo. El objetivo del estudio fue evaluar el proceso de mineralización del carbono orgánico remanente (COR); nitrógeno remanente (NR); y relación carbono/nitrógeno (C/N), de cuatro materiales Bagazo autoclave (BA), Bagazo difusor (BD), composta de bagazo autoclave (CBA) y Composta de bagazo difusor (CBD), en suelos contrastantes (regosol y luvisol), por el método de las bolsas de descomposición. Después de un año de evaluación las variables mostraron diferencias significativas entre los residuos orgánicos (RO); y suelos. Se encontró que la cantidad absoluta de COR disminuyó gradualmente en los bagazos a lo largo del año, mientras que la cantidad de NR no disminuyó de manera significativa, por lo que se observó una evidente reducción de la relación C/N. Estas variables en las compostas permanecieron parcialmente estables durante el proceso de mineralización. Por lo tanto, ambos materiales se pueden añadir al suelo, aunque con objetivos diferentes; en el caso de las compostas se pueden incorporar en el suelo, mientras que en el caso de los bagazos conviene sólo depositarlos sobre el suelo.

Palabras claves: Regosoles, luvisoles, subproductos orgánicos, composición química.

ABSTRACT

The study of the mineralization process of bagasse and bagasse compost (by-products from the production of tequila) allows predicting their effects on soil fertility upon their incorporation. The objective of the study was to evaluate the mineralization process of the remaining organic carbon (COR), N remaining nitrogen (NR) and Carbon/nitrogen ratio (C/N), in four materials autoclave bagasse (BA), diffuser ba-

gasse (BD), autoclaved bagasse compost (CBA), and diffuser bagasse compost (CBD), in contrasting soils (regosol and luvisol), by the decomposition bag method. After one year of evaluation, the variables showed significant differences between organic waste (OR) and soils. It was found that the absolute amount of COR gradually decreased in the bagasse throughout the year, while the amount of NR did not decrease significantly, so, an evident C/N ratio reduction was observed. These variables in the composts remained partially stable during the mineralization process. Therefore, both materials can be added to the soil, but with different objectives; in the case of compost, they can be incorporated into the soil, while in the case of bagasse it is only advisable to deposit them over soil surface.

Keywords: Regosols, luvisols, organic by-products, chemical composition.

INTRODUCCIÓN

Aunque se conoce el papel que puede ejercer los residuos orgánicos (RO) sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, Bonilla *et al.* (2020) señalaron que para hacer un manejo adecuado de los RO es necesario conocer cómo se presenta el proceso de descomposición, así como de la dinámica de mineralización después de su incorporación al suelo. El ritmo de descomposición de RO en términos de pérdida de su biomasa, así como la dinámica de mineralización de C y N, han sido estudiadas en diferentes sistemas agrícolas con resultados variables. Dichas variaciones han sido atribuidas al origen y calidad del RO, tamaño de partícula de este, tiempo de incubación en el suelo, humedad edáfica, entre otras (González *et al.*, 2008). Los RO con mayor atención son los obtenidos de la producción de granos y cereales (Pérez *et al.*, 2010; Aranda, 2013); sin embargo, existen otros generados por la industria de bebidas y alimentos que no han sido estudiados en profundidad. Dentro de

*Autor para correspondencia: Eduardo Salcedo Pérez
Correo-e: eduardo.salcedo@academicos.udg.mx

Recibido: 12 de Julio de 2022

Aceptado: 17 de noviembre de 2022

estos materiales se pueden mencionar los RO generados en la industria del tequila. En el Estado de Jalisco el *Agave tequilana* Weber var. *Azul* es considerado el cultivo de mayor importancia económica. De acuerdo con López *et al.* (2010) la continua y creciente demanda del tequila a nivel nacional e internacional da lugar a la generación de altos volúmenes de RO sólidos como el bagazo (subproducto compuesto por fibras lignocelulósicas de diferente longitud), generado de la extracción de azúcares fermentables de un tallo sin hojas. De acuerdo con el Consejo Regulador de Tequila (CRT, 2020) se produjeron 374,000,000 L de esta bebida lo que derivó en 562,800 ton de bagazo. Ante la problemática ambiental y económica que ocasiona la disposición de estos RO para la industria tequilera la mayor parte de ellos, son incinerados. Lo anterior ha generado alternativas para convertir esta biomasa en biocombustible, alimento para animales o papel, entre otros. En el ámbito agrícola estos RO, en forma de compostas o vermicompostas, son utilizados como sustrato para la germinación de diferentes especies vegetales (Iñiguez *et al.*, 2011; Crespo *et al.*, 2013). Por otro lado, es común que algunos agricultores incorporen estos RO al suelo de forma directa o indirecta (composta), lo cual es congruente con lo reportado por Turiján *et al.* (2012), quienes señalaron que las prácticas agrícolas modernas incluyen la devolución de los RO de los cultivos al suelo. Lamentablemente hasta la fecha no se tiene información sobre la dinámica de mineralización de C y N en los suelos que, generalmente, reciben estos materiales como enmienda orgánica. Por todo lo anterior se realizó un experimento con el objetivo de evaluar, durante un año, la dinámica de mineralización del C y N del bagazo de agave en suelos agrícolas del estado de Jalisco (México).

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de la investigación

La investigación fue realizada desde el 1° de julio del 2019 al 1° de julio del 2020 en el Centro Universitario de Ciencia

Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) de la Universidad de Guadalajara, *Campus* de Zapopan, (Jalisco, México; coordenadas 20°43' N y 103°23' W); se trata de una extensa llanura situada a una altitud de 1.550 m.s.n.m., la temperatura media anual es de 19,4 °C y precipitación media anual de 957 mm.

Suelos y subproductos orgánicos seleccionados

Se utilizaron dos tipos de bagazo de agave; uno proveniente de la cocción en autoclave, molienda y prensado denominado bagazo de autoclave (BA) y el otro, mediante difusión de agua caliente llamado bagazo de difusor (BD). Así mismo, estos bagazos fueron utilizados en forma de compostas: composta bagazo de autoclave (CBA) y composta de bagazo del difusor (CBD), siendo elaboradas de acuerdo, a los procedimientos recomendados por (Iñiguez *et al.*, 2011). Las características químicas de los materiales se presentan en el Tabla 1. Se dispuso de un diseño completamente al azar con arreglo factorial (4 x 2 x 7), con tres repeticiones, donde los factores fueron (4 materiales orgánicos) (2 tipo de suelo) y (7 momentos de muestreo). Para ambos suelos se prepararon un total de 168 bolsas de nylon (marca Ankom), 5 cm de ancho x 10 de largo y 1 mm de abertura de malla, en cada bolsa se colocaron 5 g en base seca de cada uno de los RO en estudio. Se establecieron un total de 14 cubetas de plástico, 7 cubetas para cada tipo de suelo; en cada cubeta se colocaron tres bolsas de descomposición a 10 cm de profundidad. Se recuperaron las bolsas a los 30, 60, 90, 120, 180, 240 y 365 d. En cada muestreo se recuperaron tres bolsas por tratamiento, las cuales se limpiaron eliminando las partículas de suelo. El residuo recuperado se colocó en estufa de aire forzado a 70 °C durante 48 h; se retiró el residuo de la estufa y se pesó en una balanza analítica Hanchen®.

Por otra parte, se utilizaron dos suelos contrastantes: Regosol, suelo poco evolucionado; y 2) Luvisol crómico, suelo muy evolucionado; de acuerdo a la tipificación de la FAO (WRB, 2015); las características químicas y físicas se midieron de acuerdo a la NOM 021 RECNAT (2000); Tabla 2.

Tabla 1. Caracterización química inicial de los residuos orgánicos empleados.

Table 1. Initial chemical characterization of the organic waste used.

	Concentración inicial (mg g ⁻¹)					
	Carbono	Nitrógeno	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina	Relación C/N
BA	41,2	0,52	40,4	10,0	10,0	79,0
BD	40,9	0,56	33,0	9,1	6,5	74,0
CBA	23,3	1,28	26,3	7,1	11,1	18,3
CBD	24,0	1,85	23,5	8,1	11,6	12,8

Tabla 2. Propiedades físicas y químicas de los suelos empleados en este estudio.

Table 2. Physical and chemical properties of the soils used in this study.

Suelo	Partículas minerales			Textura	MOS (%)	D _{ap} (Mg m ⁻³)	pH (agua)
	(%)						
	Arena	Limo	Arcilla				
Regosol	59,8	26,0	14,2	Franco arenosa	1,39	1,09	5,1
Luvisol	33,8	36,0	30,2	Franco limosa	1,26	0,97	6,6

MOS: Materia orgánica del suelo, D_{ap}: Densidad aparente, pH: Potencial de hidrógeno.

VARIABLES EVALUADAS

El carbono orgánico total (COT, en %) fue estimado calcinando los RO en un horno mufla a 550 °C durante 2 h y determinando la pérdida de peso. Se colocó 1 g de RO, aplicándose la ecuación definida por Gallardo (2017):

$$COT = (100 * g - g_{cenizas}) * 0,45$$

Para determinar las cenizas de las muestras se pesó el material residual después de la calcinación (g). La concentración de N total del sustrato orgánico (Nt) se determinó por el procedimiento Kjeldahl en un equipo NOVATECH (TMECC, 2001) en otra fracción de los RO.

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Los valores de COT y Nt residuales fueron sometidos a un análisis de varianza y comparación de promedios mediante la prueba Tukey ($P < 0,05$) utilizando el programa estadístico *Statgraphics Centurión XVII (Statgraphics, 2014)*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Carbono y nitrógeno remanentes en los sustratos orgánicos

Los contenidos de C y N en la biomasa remanente mostraron un comportamiento significativamente diferente durante el año del proceso de descomposición en los cuatro materiales orgánicos (Tabla 3).

Evolución de la concentración de carbono

Se encontró que la concentración de C presente en los bagazos y en compostas al final del experimento fue similar, pero en diferente magnitud, la cual se mantuvo constante prácticamente durante la experimentación, independientemente de la cantidad de C del material en el proceso de descomposición en ambos tipos de suelo (Figura 1 a y b). Este comportamiento ha sido reportado previamente (Martín *et al.*, 1997; Rocha y Ramírez, 2009).

Evolución del C remanente

La Figura 2 a y b exponen el C remanente (referido a 1,00 g inicial) que se mantiene en el material residual durante el periodo de descomposición; en ambos bagazos disminuyó significativamente, el BD presentó una mineralización significativamente más acelerada en ambos suelos (255 y 358 mg de C remanente en Regosol y Luvisol respectivamente), en tanto el BA tuvo una mayor resistencia a la degradación del C (407 y 556 mg de C remanente en Regosol y Luvisol respectivamente). Por otra parte, el comportamiento del C en las dos compostas en ambos suelos fue significativamente más lento y su disminución fue menor; así, la composta de bagazo de autoclave (CBA) tuvo una degradación (693 y 884 mg de C remanente en el suelo Regosol y Luvisol respectivamente), mientras que la composta de bagazo del difusor (CBD) sufrió degradación en ambos suelos (846 y 773 mg de C remanente en el Regosol y Luvisol respectivamente). Nótese que la evolución es similar a la que sigue la MS.

A tenor de lo indicado anteriormente, sería preferible utilizar los bagazos compostados (con relaciones C:N más favorables) para evitar el "hambre de N" que, indudablemente, producen los bagazos (Amaral y Abelho 2016); Babbar y Ewel (1989) estimaron que se deben de utilizar especies más lignificadas y menos lábiles para incrementar contenidos de materia orgánica del suelo MOS, dado que presentan un ritmo de mineralización y liberación de nutrientes más bajo (como serían los bagazos compostados, CBA y CBD), reduciéndose la pérdida por emisión o lixiviación. Rocha y Ramírez (2009), reportaron que de un año de evaluar la descomposición de la biomasa de siete especies en dos sitios de Chiapas México, encontraron diferencias significativas en la concentración inicial y final de C y N y, en la relación C:N (encontrándose valores de 50 - 52 % para C, 1,0 - 1,2 % para N y relaciones C:N de 31,5 - 47,8 en el primer sitio, mientras que para el sitio dos los valores de N, C y las relaciones C:N fueron 48,6 - 52,5, 0,8 - 1,6 y 29,3 - 60,8 %, respectivamente; los materiales evaluados al final del experimento mostraron que el contenido de C se mantuvo constante, mientras que el contenido de N

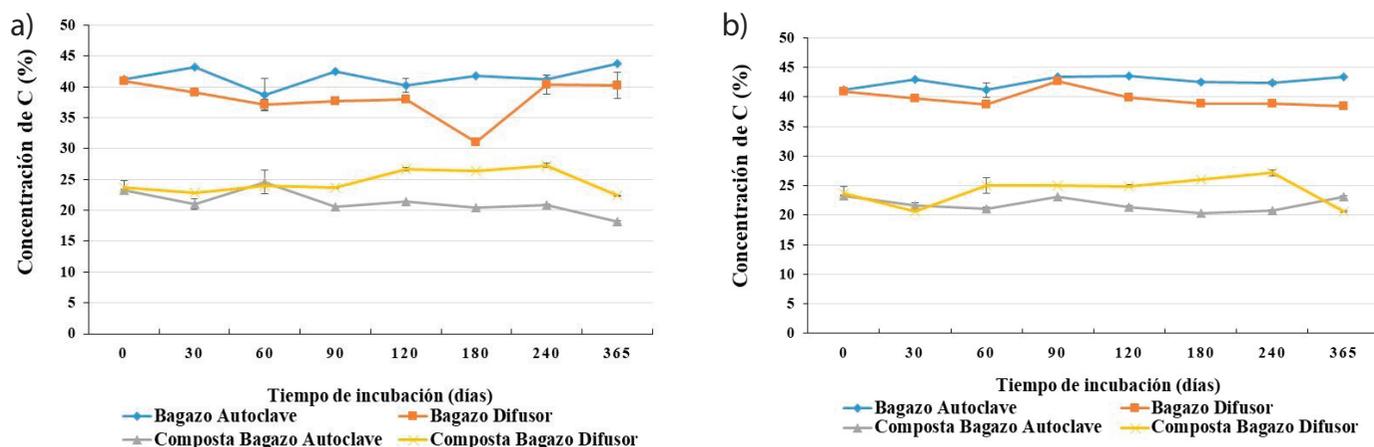


Figura 1. Concentración de C remanente de los materiales orgánicos en suelos Regosol (a) y Luvisol (b). Barras verticales: Error estándar de las medias. Tukey ($P < 0,05$).

Figure 1. Concentration of remaining C of organic materials in Regosol (a) and Luvisol (b) soils. Vertical bars: Standard error of the means. Tukey ($P < 0.05$).

aumentó relativamente conforme al tiempo de evaluación, al igual que lo ocurrido en los dos suelos evaluados en este trabajo; Figura 1 a y b; Tabla 3).

Evolución de la concentración de N

La evolución del N no es paralela a la del C, pues tiende a mantenerse dentro de la biomasa microbiana en el caso de las compostas (Figura 3 a y b), incluso incrementa significativamente su concentración relativa en el caso de los bagazos (inicialmente muy pobres en N). A los 365 d de evaluación el BA y el BD presentaron un incremento relativo de 1,3 y 1,1 % de N en el Regosol (Figura 3 a y b), mientras que en el Luvisol no se presentó el mismo comportamiento, ya que todos los tratamientos mantuvieron sus concentraciones iniciales. Las dos compostas (CBA y CBD) no presentaron un incremento significativo en la concentración en ambos suelos, aunque la concentración de N en los bagazos compostados descendió rápidamente durante los primeros 30 d al ser sometidos a la degradación edáfica en el Regosol; pero, a partir de los 120

d aproximadamente, se presentó un aumento relativo en la concentración de N en dichas compostas en el Regosol. La concentración de N en los RO, tanto los que se incubaron frescos (BA y BD) como los que sufrieron compostaje previo (CBA y CBD), descendió rápidamente durante los primeros 30 d, lo que muestra un intenso ataque microbiano (Silva *et al.*, 2008). Comportamientos similares a los indicados aquí son los usuales encontrados por numerosos autores como Martín *et al.* (1997), y Amaral y Abelho (2016), y se producen por la tendencia de la microbiología a bioacumular los nutrientes limitantes.

Evolución del N remanente

La Figura 4 a y b evidencian que el comportamiento del N remanente con la materia seca residual (MSR) no presenta una dinámica constante, mostrando variaciones durante el año de estudio, en especial en el Regosol, siendo menos pronunciadas en el Luvisol como sucedía con las concentraciones de N (Figura 3 a y b), respecto a la cantidad de N

Tabla 3. Contenido de carbono y nitrógeno inicial y final, y relación C/N del material remanente de los substratos orgánicos.

Table 3. Initial and final carbon and nitrogen content, and C/N ratio of the remaining material of the organic substrates.

	C (mgC.g)		N (mgN.g)		C:N	
	C _i	C _f	N _i	N _f	Inicial	Final
Suelo Regosol (5,00 g iniciales)						
BA	412 ± 0,2 ^A	438 ± 0,44 ^{Aa}	5,2 ± 0,05 ^C	17,8 ± 0,52 ^{ionAa}	79 ± 29,2 ^A	25 ± 0,76 ^{Aa}
BD	409 ± 0,2 ^A	403 ± 0,21 ^{B*}	5,6 ± 0,01 ^C	16,4 ± 0,06 ^{Ba}	74 ± 0,5 ^A	25 ± 0,03 ^{Aa}
CBA	233 ± 1,2 ^B	182 ± 2,2 ^{Db}	13 ± 0,01 ^B	17,8 ± 0,05 ^{Aa}	18 ± 0,8 ^B	10 ± 3,4 ^{Ca}
CBD	237 ± 11,5 ^B	224 ± 0,61 ^{Ca}	19 ± 0,00 ^A	15,6 ± 0,00 ^{Bb}	13 ± 6,8 ^B	14 ± 4,8 ^{Bb}
Suelo Luvisol (5,00 g iniciales)						
BA	412 ± 0,2 ^A	433 ± 0,68 ^{A b}	5,2 ± 0,05 ^C	10,2 ± 0,08 ^{Cb}	79 ± 29,2 ^A	42 ± 0,27 ^{Ab}
BD	409 ± 0,2 ^A	385 ± 0,27 ^{B*}	5,6 ± 0,01 ^C	10 ± 0,20 ^{Db}	74 ± 0,5 ^A	40 ± 0,82 ^{Ab}
CBA	233 ± 1,2 ^B	231 ± 1,9 ^{Ca}	13 ± 0,01 ^B	16,2 ± 0,01 ^{Bb}	18 ± 0,8 ^B	14 ± 0,10 ^b
CBD	237 ± 1,5 ^B	207 ± 1,3 ^{Db}	19 ± 0,00 ^A	17 ± 0,10 ^{Aa}	13 ± 6,8 ^B	12 ± 0,01 ^{Ba}

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas. *No se encontraron diferencias significativas. ± Error estándar de las medias. Tukey (P < 0,05); letra minúscula comparación entre suelos; letra mayúscula comparación entre tiempos inicial y final.

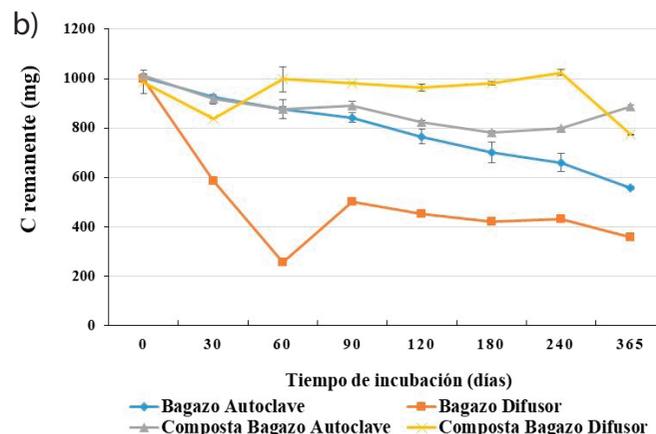
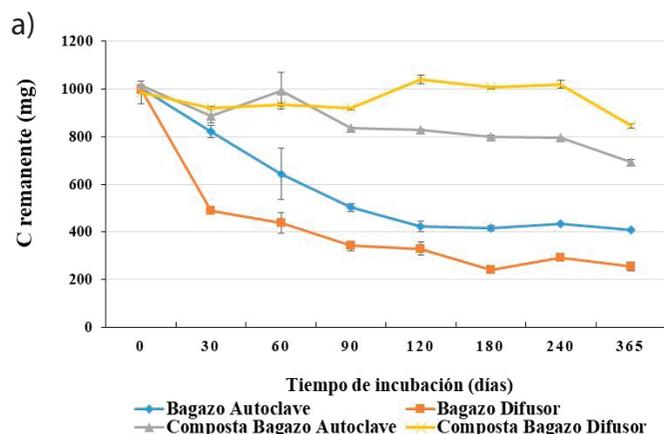


Figura 2. Evolución del C remanente de los materiales orgánicos en suelos Regosol (a) y Luvisol (b). Barras verticales: Error estándar de las medias. Tukey (P < 0,05). Carbono referido a 1,00 g de materia seca inicial.

Figure 2. Evolution of the remaining C of organic materials in Regosol (a) and Luvisol (b) soils. Vertical bars: Standard error of the means. Tukey (P < 0.05). Carbon referred to 1,00 g of initial dry matter.

absoluto se observa un incremento en ambos suelos tanto para el tratamiento BA, como para el CBD.

Se puede observar que el comportamiento de los cuatro materiales los separa en dos grupos (Figura 4 a y b) que no obedecen a bagazos o compostas (como sucede en el caso de la materia seca y del C), el primero lo forman los tratamientos BD y CBA quienes mostraron un incremento en el contenido de N en suelo Regosol (20 %) debido a una mayor actividad de mineralización por los microorganismos quienes inmovilizaron este excedente, mientras que el grupo BA y CBD la menor actividad de mineralización generó por el contrario la pérdida del N en los materiales. En el Luvisol todos los tratamientos presentaron una disminución del N remanente excepto el BA; siendo mayor la pérdida en el grupo BD y CBA con un 50 %, lo cual indica que las condiciones de intercambio coloidal de las arcillas para retener el nitrógeno mineralizado, en este suelo son mayores que en el Regosol. Existe un incremento absoluto de N en el bagazo

BA al final del proceso en el Regosol (Figura 4 a y b) que, indudablemente, deber ser aportado por este suelo durante el proceso de su degradación (produciendo previsiblemente "hambre de N"), a no ser que se produzca una significativa fijación de N por bacterias (Martín *et al.*, 1997). Los diferentes factores actuantes (tipos de sustratos, tratamientos o suelos) determinan que los resultados sean diferentes, como igualmente muestra la bibliografía (Gallardo, 2017; Bonilla *et al.*, 2020).

Evolución de la relación C/N de los sustratos orgánicos

Transcurridos los 12 meses de degradación los bagazos disminuyeron la relación C:N alrededor de un tercio en el Regosol, mientras que en el Luvisol descendió a la mitad; ello está en consonancia con las pérdidas de peso (C y N) sufridas durante la degradación (ya se sabe que lo que se pierde es, fundamentalmente, CO₂); al final del experimento la razón C/N de los bagazos bajó a valores aproximados de

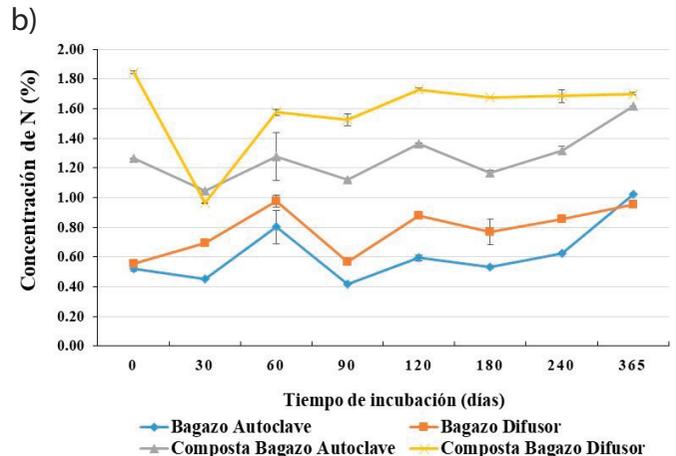
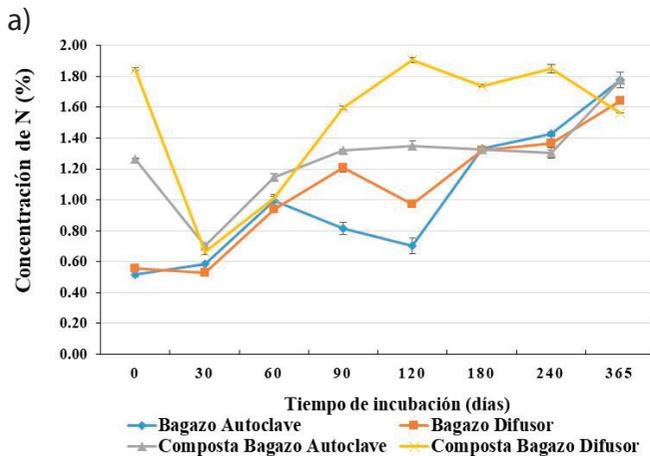


Figura 3. Concentración de N remanente de los materiales orgánicos en suelos Regosol (a) y Luvisol (b). Barras verticales: Error estándar de las medias. Tukey ($P < 0,05$).

Figure 3. Remaining N concentration of organic materials in Regosol (a) and Luvisol (b) soils. Vertical bars: Standard error of the means. Tukey ($P < 0.05$).

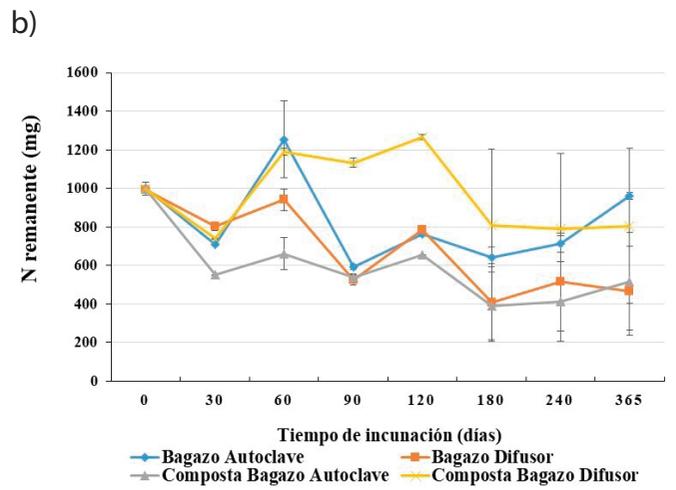
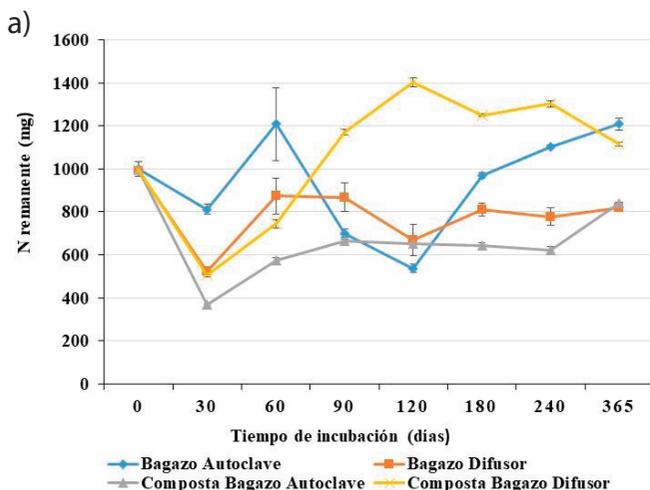


Figura 4. Evolución del N remanente de los materiales orgánicos en suelos Regosol (a) y Luvisol (b). Barras verticales: Error estándar de las medias. Tukey ($P < 0,05$). Carbono referido a 1,00 g de materia seca inicial.

Figure 4. Evolution of remaining N of organic materials in Regosol (a) and Luvisol (b) soils. Vertical bars: Standard error of the means. Tukey ($P < 0.05$). Carbon referred to 1,00 g of initial dry matter.

25 y 40 en el Regosol y Luvisol respectivamente (Tabla 3); sin embargo, las compostas mantuvieron sus relaciones C:N un valor similar a los valores iniciales (oscilante entre 10 y 14). Es interesante hacer notar que mientras en el Luvisol se discrimina fácilmente la evolución del porcentaje de N relativo entre bagazos y compostas (Figura 3 a y b), ello no sucede en el Regosol, con lo que se denota de nuevo el efecto protector de las arcillas (Gili *et al.*, 2011). El incremento absoluto de N, en los RO estudiados justifican la caída de la razón C/N final a 25 (Tabla 3). Además, existe un incremento más neto de ganancia absoluta de N en CBD también con el Regosol, a pesar de su relativamente favorable relación C/N inicial (14), lo cual justifica que esa relación cae significativamente al final del proceso a un valor tan bajo como 10 (Tabla 3). Que suceda en ambos casos en el Regosol indica que, sin duda, los microorganismos aprovecharon mejor el N disponible edáfico, menos protegido por las arcillas. Por otra parte, la relación C/N en CBA se mantuvo más o menos estable. Con base en lo anterior, Gómez *et al.* (2020), al evaluar la dinámica de raíces de maíz y la actividad biológica en dos tipos suelos, encontraron un efecto de enriquecimiento de N a medida que los residuos se degradan (por lo tanto, causando caída de la relación C/N), lo cual indica que se tendrá mayor bioacumulación de N (inmovilización biológica). Nótese que al añadirse estos bagazos al Luvisol el efecto de "hambre de N" será menos acusado al quedar con un valor final de C/N más alto (42 y 40, lo que significa un menor consumo de N edáfico) que el que sucede en el Regosol (donde la relación C/N baja a 25, lo que implica una gran sustracción de N al suelo; Tabla 3); sin duda ambos bagazos sin compostar causarían, con seguridad, "hambre de N" al añadirse al suelo si existieran plantas cultivadas (Knapp *et al.*, 1983; Reinertsen *et al.*, 1984); por ello siempre sería preferible enterrar los RO ya compostados (en especial CBA con una razón C/N más equilibrada, con un valor de 18; Crespo *et al.*, 2013); por el contrario, la razón C/N de CBD no es óptima (demasiado baja, con un valor de 12; Tabla 3) lo que sin duda liberará demasiado N, pudiendo producirse lixiviación y, por ende, contaminación nitrogenada (Cerón y Aristizábal, 2012). No obstante, hay que considerar que los residuos resultantes de los bagazos sin compostar, después de incorporarlos al Luvisol, siguen teniendo relaciones C/N demasiado altas (42 y 40; Tabla 3), por lo que se recomiendan añadirlos al suelo ya compostados; si bien es verdad que, dentro de las compostas, es siempre conveniente que la relación C/N no sea demasiado baja (por ejemplo, inferior a 18,0; Pérez *et al.*, 2011; Gallardo, 2017; Cordero *et al.*, 2018) para evitar contaminaciones nítricas, cosa que debe suceder con la composta CBD (relación C/N 13; Tabla 2) como se ha indicado.

CONCLUSIONES

La concentración relativa de C ($\text{mgC}\cdot\text{g}^{-1}$) presente en los subproductos estudiados se mantiene constante durante el proceso de degradación en el suelo; sin embargo, el C remanente (en términos absolutos) disminuye conforme pasa el tiempo paralelamente a la pérdida de materia seca hasta

el final de la evaluación, muy notablemente en los bagazos frescos.

Respecto al N presente en los bagazos su concentración aumenta cuando se expresa en concentración en el sustrato (mg N g^{-1}); referido a valores absolutos de N remanente, salvo el primer mes, se denota una clara inmovilización biológica de N; no obstante, la utilización práctica de este incremento absoluto de N se ve reducida por los riegos de producir fenómenos de "hambre de N" en las cosechas.

Se produce, como consecuencia de lo anterior, una muy significativa reducción de la relación C/N en los bagazos, que es poco pronunciada en el bagazo ya compostado.

REFERENCIAS

- Amaral, F. y Abelho, M. 2016. Effects of agricultural practices on soil and microbial biomass carbon, nitrogen and phosphorus content: a preliminary case study". Web Ecol. 16: 3-5.
- Aranda, O.S. 2013. Enfermedades Bacterianas Asociadas a Semillas de Cereales. Revista Mexicana de Fitopatología. 31: 71-72.
- Babbar, L.I. y Ewel, J.J. 1989. Descomposición del follaje en diversos ecosistemas sucesionales tropicales. Biotropica. 21: 20-29.
- Base referencial mundial del recurso suelo (WRB) IUSS Working Group. 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos. No. 106. Tercera Edición. FAO. Viale delle Terme di Caracalla, Roma, Italia. 218 p. Disponible en: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/base-referencial-mundial/es>.
- Bonilla, C.C., Díaz, J., Gil, C., Girón, K., León, M., Ortiz, O. y Suárez, A. 2020. Dinámica de la descomposición de residuos orgánicos. Suelos Ecuatoriales. 50: 31-39.
- CRT 2020. Consejo regulador del tequila. <http://www.crt.org.mx/EstadisticasCRTweb/14/11/2020>.
- Cerón, R.L. y Aristizábal, G.F. 2012. Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. Revista Colombiana de Biotecnología. 14: 285-95.
- Cordero, V.L., Marín, T.R.I. y Silva, M.O. 2018. Producción de composta a base de residuos de orégano, (tallo y hoja) en el Municipio de Rodeo, Dgo. Revista del Desarrollo Urbano y Sustentable. 4: 17-21.
- Crespo, G.M., González, E.D., Rodríguez, M.R., Rendón, S.L., del Real, L.J. y Torres, M.P. 2013. Evaluación de la composta de bagazo de agave como componente de sustratos para producir plántulas de agave azul tequilero. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 4: 1161-1173.
- Gallardo, J.F. 2017. La materia orgánica del suelo: residuos orgánicos, humus, compostaje, captura de carbono. Texcoco (México): Universidad Autónoma de Chapingo. I.S.B.N.:978-607-12-0474-5. 424 pp.
- Gili, P., Irisarri, J., Tasile, V., Behemer, S., Starik, C. y Sagardoy, M. 2011. Descompactación de suelos de huertos de manzanos (*Malus domestica* Borkh.) bajo riego en el alto valle de río negro-argentina. Agro Sur. 39: 67-78.
- Gómez, M.F., Noellemeyer, E.J. y Frasier I. 2020. Dinámica de raíces y actividad biológica en secuencias de cultivos en dos tipos de suelo de la región semiárida central. Ciencia del Suelo. 38: 56-71.

- González, O.H., Sadeghian, K.S., Zapata, H.R.D. y Mejía, M.B. 2008. Fraccionamiento de la materia orgánica en suelos de la zona cafetera de Caldas. *Cenicafé*. 59: 310-320.
- Heal, O.W., Anderson, J.M. y Swift, M.J. 1997. Plant litter quality and decomposition: an historical overview. En: Cadisch G y Giller KE (ed.), pp 3-30. Wallingford. Oxon: CAB International.
- Iñiguez, G., Martínez, G.A., Flores, P.A. y Virgen, G. 2011. Utilización de subproductos de la industria tequilera. Monitoreo de la evolución del compostaje de dos fuentes distinta de bagazo de Agave para la obtención de un substrato para jitomate. *Revista internacional de contaminación ambiental*. 27: 47-59.
- Kirschbaum, M.U.F. 1995. The temperatura dependence of soil organic matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic C storage. *Soil Biology and Biochemistry*. 27: 753-760.
- Knapp, E.B., Elliot, L.F. y Campbell, G.S. 1983. Carbon, nitrogen, and microbial biomass interrelation during the decomposition of wheat straw: A mechanistic simulation model. *Soil Biology and Biochemistry*. 15: 455-461.
- López, L.A., Dávila, V.G., León, B.E., Villegas, G.E. y Gallardo, V.J. 2010. Tequila vinasses: generation and full scale treatment processes. *Rev Environ Sci Biotechnol*. 9: 109-116.
- Martín, A., Gallardo, J.F. y Santa Regina, I. 1997. Long-term decomposition process of leaf litter from *Quercus pyrenaica* forests across a rainfall gradient (Spanish Central System). *Annals of Forest Science*. 54: 191-202.
- Mendoza, C.A., Regner, P., Turrión, M.B., Pando, V. y Aceñolaza, P.G. 2017. Pérdida de peso durante la descomposición de hojas de *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch en plantaciones de diferentes edades. *Quebracho*. 25: 91-100.
- Pérez, A., Saucedo, O., Iglesias, J., Wencomo, H.B., Reyes, F., Oquendo, G. y Milián, I. 2010. Caracterización y potencialidades del grano de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Pastos y Forrajes*. 33: 1-26.
- Pérez, Q.J., Delpiano, C.A., Snyder, K.A., Johnson, D.A. y Franck, N. 2011. Carbon pools in an arid shrubland in Chile under natural and afforested conditions. *Journal of Arid Environments*. 75: 29-37.
- NOM-021-RECNAT-2000 (Norma Oficial Mexicana). 2002. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. SEMARNAT. México, D. F. 85 p.
- Reinertsen, S.A., Elliot, L.F., Cochran, V.L. y Campbell, G.S. 1984. Role of available carbon and nitrogen in determining the rate of wheat straw decomposition. *Soil Biology and Biochemistry*. 16: 459-464.
- Rocha, L.A. y Ramírez, M.N. 2009. Producción y descomposición de hojarasca en diferentes condiciones sucesionales del bosque de pino-encino en Chiapas, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 84: 1-12.
- Sánchez, S., Crespo, G., Hernández, M. y García, Y. 2008. Factores bióticos y abióticos que influyen en la descomposición de la hojarasca en pastizales. *Pastos y Forrajes*, 31: 99-108.
- Silva, G.T., Matos, V.L., Nóbrega, O.P., Carneiro, C.E. y De Resende, S.A. 2008. Chemical composition and decomposition rate of plants used as green manure. *Scientia Agrícola*. (Piracicaba, Brasil). 65: 298-305.
- Sun, L., Teramoto, M., Liang, N., Yazaki, T. y Hirano, T. 2017. Comparison of litter-bag and chamber methods for measuring CO₂ emissions from leaf litter decomposition in a temperate forest. *Journal of Agricultural Meteorology*. 73: 59-67.
- Statgraphics, C. 2014. Statgraphics Centurion XVII. User Manual. Version, 17 (8.0). Herndon, USA.
- Torres, R., Lugo, C., Gordon, E. y Suarez, V.L. 2013. Descomposición foliar *in situ* de *Heliconia marginata* en un humedal herbáceo (Barlovento, Venezuela). *Polibotánica*. 35: 21-40.
- Turián, A.T., Huato, M.Á., Ramírez, V.B., Juárez, S.J. y Chulín, E.N. 2012. Manejo tradicional e innovación tecnológica en cultivo de maíz en San José Chiapa, Puebla. *Rev. Mexicana Ciencias Agrícolas*. 3: 1085-1100.
- TMECC. 2001. Test method for the examination of composting and compost. US Composting Council Research & Education Foundation, y U.S.D.A. CD-ROM Co. Nueva York. Compact disc.
- Trofymow, J.A., Moore, T.R., Titus, B., Prescott, C., Morrison, I., Siltanen, M., Smith, S., Fyles, J., Wein, R., Camiré, C., Duschene, L., Kozak, L., Kranabetter, M. y Visser, S. 2002. Rates of litter decomposition over 6 years in Canadian forests: influence of litter quality and climate. *Canadian Journal of Forest Research*. 32: 789-804.
- Verhoef, H.A. y Brussaard, L. 1990. Decomposition and nitrogen mineralization in natural and agro-ecosystems: the contribution of soil animals. *Biogeochemistry*. 11: 175-211.
- Wendling, B., Jucksch, I., Mendonça, E.S., Neves, J.C.L., Silva, I.R. y Costa, L.M. 2008. Organic-Matter Lability and Carbon-Management Indexes in Agrosilvopasture System on Brazilian Savannah. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 39: 1750-1772.
- Wiesenberg, G.L.B., Dorodnikov, M. y Kuzyakov, Y. 2010. Source determination of lipids in bulk soil and soil density fractions after four years of wheat cropping. *Geoderma* 156: 267-277.